



Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Civil
PhD Marian Sabau

INFORME DE AVANCE DE INVESTIGACIÓN

Proyecto de extensión y responsabilidad social CTI “IMPLEMENTACIÓN DE UN
PROTOTIPO PARA EL DESARROLLO NUEVAS TECNOLOGÍAS
CONSTRUCTIVAS APLICADAS A LA VIS 4ª FASE”

Contenido

1. OBJETO DEL INFORME.....	3
2. ANTECEDENTES.....	3
3. DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO CON PLÁSTICO.....	4
4. RESULTADOS	6
5. CONCLUSIONES.....	7
BIBLIOGRAFÍA.....	9
ANEXO A. REGISTRO FOTOGRÁFICO CONCRETO EN ESTADO FRESCO	10
ANEXO B. REGISTRO FOTOGRÁFICO ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS	14
B.1 Fotos ensayo a los 7 días de edad.....	14
B.2 Fotos ensayo a los 14 días de edad.....	17
B.3 Fotos ensayo a los 28 días de edad.....	19
ANEXO C. INFORMES ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS SUMINISTRADOS POR INCOSUELOS LTDA.....	22
C.1 Informe ensayo a los 7 días de edad	22
C.2 Informe ensayo a los 14 días de edad	23
C.3 Informe ensayo a los 28 días de edad	24

1. OBJETO DEL INFORME

El objeto del presente informe es dar respuesta a la solicitud de los avances de actividades desarrolladas en el proyecto Vivienda de Interés Social (VIS) por parte del programa de Ingeniería Civil.

La meta fue diseñar un concreto con plástico molido proveniente de residuos plásticos de equipos electrónicos para utilizarlo en la fabricación de elementos no estructurales, como muros divisorios en viviendas de interés social.

Las actividades que se hayan desarrollado son como sigue:

- el diseño de las mezclas de concreto con 40%, 50% y 60% en peso de plástico molido.
- la realización de un numero de 24 cilindros de concreto de 6x12 pulgadas para comprobar la resistencia a compresión del concreto de acuerdo con la NTC 673 (ICONTEC, 2010)
- la realización de los ensayos de los cilindros en una máquina de compresión en el laboratorio de la empresa INCOSUELOS LTDA.

Este informe presenta detallado las actividades mencionadas en el párrafo anterior.

2. ANTECEDENTES

En octubre de 2015 se entrega un informe de avance de investigación por parte de los docentes investigadores del Programa de Ingeniería Civil ing. Yamith Cantillo Mier e ing. Nayib Moreno, cuales intentaron de diseñar un concreto con plástico, pero sin éxito.

Los materiales que se utilizaron fueron los siguientes:

- cemento Argos;
- arena proveniente de la cantera del municipio de Santo Tomás (Atlántico);
- gravilla proveniente de la cantera de Puerto Colombia (Atlántico);
- plástico molido.

Las proporciones de los agregados dentro de la mezcla de concreto utilizando la metodología de Fuller-Thomson fueron: 38% gravilla, 10% arena y 52% plástico. Se puede observar que el porcentaje de arena utilizado (10%) fue muy bajo.

De acuerdo al informe presentado por los autores el concreto con 52% plástico en peso alcanzó resistencias de sólo 25 kg/cm^2 ($\approx 355 \text{ psi}$), aunque fue diseñado para que soporte resistencias mínimas de 105 kg/cm^2 ($\approx 1493 \text{ psi}$).

Las conclusiones asumidas de los autores para este hecho fueron los siguientes:

- la falta de manejabilidad de la mezcla de concreto en estado fresco (mezcla seca y sin cohesión);
- las altas temperaturas que se presentaron el día de realización de la mezcla hicieron que parte del agua de mezclado se evapore;
- la presencia de arcilla en el agregado grueso;
- la falta de adherencia entre el plástico y el material cementante.

Con base a esta experiencia previa se quiso intentar de nuevo diseñar un concreto con plástico sin el uso de algún aditivo, pero esta vez en base a la norma ACI 211.1 (ACI, 1991), el resultado siendo uno exitoso.

3. DISEÑO DE LA MEZCLA DE CONCRETO CON PLÁSTICO

Durante los días de 29 y 30 de agosto de 2016 se llevó a cabo la realización de las mezclas de concreto en la Universidad de la Costa con la presencia del suscrito, acompañado del docente Harrison Pulido (técnico del Laboratorio de Resistencia de Materiales), y de dos personas del departamento de mantenimiento.

En total se realizaron cuatro mezclas de concreto, una de referencia (sin plástico) y otras tres con diferentes porcentajes de plástico molido. La adición del plástico a la mezcla se hizo sustituyendo porcentajes de agregado grueso (gravilla). Las referencias utilizadas en este informe son como sigue:

- Concreto 1 = concreto de referencia (sin plástico);
- Concreto 2 = concreto con 40% plástico y 60% gravilla (en peso);
- Concreto 3 = concreto con 60% plástico y 40% gravilla (en peso);
- Concreto 4 = con 50% plástico y 50% gravilla (en peso).

El día 29 de agosto en horas de la mañana se realizaron las primeras dos mezclas (Concreto 1 y 2), mientras que las otras dos (Concreto 3 y 4) se realizaron el día 30 de agosto, debido a una fuerte lluvia que se presentó el 29 de agosto en la tarde. El procedimiento de mezclado utilizado fue manual con la ayuda de una pala, sin disponer de una mezcladora.

En total se han fundido 24 cilindros de concreto. Para cada tipo de mezcla (Concreto 1-4) se han realizado 6 cilindros, 2 para ensayar a los 7 días de edad, 2 para ensayar a los 14 días de edad y 2 para ensayar a los 28 días de edad.

Los materiales utilizados para la realización de las mezclas fueron los siguientes:

- cemento gris de uso general Argos;
- agregado fino como arena proveniente de la cantera del municipio de Santo Tomás (Atlántico);
- agregado grueso como gravilla proveniente de la cantera de Puerto Colombia (Atlántico);
- agregado grueso como plástico molido.

Como se ha indicado anteriormente las mezclas de concreto se han diseñado por el método del volumen absoluto del Comité ACI 211.1 (ACI, 1991). En la Tabla 1 se indican los parámetros considerados en el diseño de las mezclas. El tamaño máximo nominal y la densidad de la gravilla y plástico, así como el peso específico de la gravilla, plástico, arena y cemento, fueron determinados en base a ensayos experimentales.

Tabla 1. Parámetros considerados en el diseño de las mezclas de concreto

Parámetro	Valor considerado
Resistencia a la compresión para el concreto de referencia (sin plástico)	3000 psi
Asentamiento mínimo	1 pulgada
Asentamiento máximo	4 pulgadas
Tamaño máximo nominal de la gravilla	3/4 pulgadas
Tamaño máximo nominal del plástico	3/8 pulgadas
Relación agua/cemento (a/c)	0.55
Contenido de aire en volumen	2%
Densidad de la gravilla	1580 kg/m ³
Densidad del plástico	490 kg/m ³
Peso específico de la gravilla	2.55
Peso específico del plástico	0.93
Peso específico de la arena	2.55
Peso específico del cemento	3.02

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010) en su título C sobre el concreto estructural indica el valor de 17 MPa (\approx 2500 psi) para la resistencia mínima a compresión. Teniendo en cuenta este requisito de la norma y el hecho de que se esperaba una baja de resistencia del concreto cuando se le substituye porcentajes de gravilla con plástico, se ha elegido una resistencia de diseño para la mezcla de concreto de referencia (sin plástico) de 3000 psi.

En el diseño de la mezcla se ha considerado el valor de 1% para la humedad de los agregados teniendo en cuenta las condiciones presentes al momento de realizar las mezclas (altas temperaturas por el contacto directo del sol con el sitio del trabajo).

Otra observación importante es que la gravilla presentaba barro como se ha indicado también en el informe anterior, siendo necesario un proceso de lavado previo de la misma antes de utilizarla en las mezclas.

En la Tabla 2 a continuación se indican las cantidades de materiales para 1 m³ de concreto, así como han resultado del diseño de mezcla para los cuatro tipos de concreto (Concreto 1-4).

Tabla 2. Cantidades materiales para 1 m³ concreto

	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	Concreto 4
Cemento (kg)	372.73	372.73	372.73	372.73
Arena (kg)	638.88	638.88	638.88	638.88
Gravilla (kg)	1053.23	368.15	283.15	200.74
Plástico (kg)	0	247.86	278.61	308.43
Agua (l)	197.89	201.28	201.70	202.11

En la Tabla 3 se indican las cantidades de materiales utilizados para la realización de los 24 cilindros de concreto.

Tabla 3. Cantidades materiales utilizados para 24 cilindros (0.128 m³ concreto)

	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	Concreto 4
Cemento (kg)	16.10	16.10	16.10	16.10
Arena (kg)	27.60	27.60	27.60	27.60
Gravilla (kg)	45.50	15.90	12.23	8.67
Plástico (kg)	0	10.71	12.04	13.32
Agua (l)	8.55	8.70	8.71	8.73

4. RESULTADOS

En la Tabla 4 se presentan las propiedades de los concretos tanto en estado fresco como endurecido. Los valores de la tabla para la resistencia a compresión representan el promedio de 2 valores obtenidos para cilindros idénticos (la misma mezcla de concreto), mientras que para la densidad representan el promedio de 6 valores.

Tabla 4. Propiedades de los concretos en estado fresco y endurecido

	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3	Concreto 4
Asentamiento	2.5 pulgadas	3 pulgadas	3 pulgadas	4 pulgadas
Resistencia a la compresión 7 días	1912 psi	1714 psi	1273 psi	1296 psi
Resistencia a la compresión 14 días	2346 psi	1874 psi	1500 psi	1555 psi
Resistencia a la compresión 28 días	2728 psi	2147 psi	1521 psi	1803 psi
Densidad	2426 kg/m ³	2119 kg/m ³	1897 kg/m ³	1990 kg/m ³

Los ensayos a compresión de los cilindros se han realizado en el laboratorio de la empresa INCOSUELOS LTDA. En el Anexo C se presentan los informes de estos ensayos suministrados por la empresa.

Como se puede observar en la Tabla 4 el concreto sin plástico (Concreto 1) alcanzó a los 7 días el 70% de la resistencia a los 28 días (2728 psi), mientras que el concreto con 60% plástico (Concreto 3) alcanzó el 84% de la resistencia a los 28 días (1521 psi).

La resistencia a los 7 días de edad del Concreto 3 fue 66% de la resistencia del concreto sin plástico, significando una baja de resistencia del Concreto 3 de 34%. La resistencia a los 28 días de edad del Concreto 3 fue 55% de la resistencia del concreto sin plástico, significando una baja de resistencia

del Concreto 3 de 45%. En la Fig. 1 se puede observar el desarrollo de las resistencias a compresión para cada tipo de concreto.

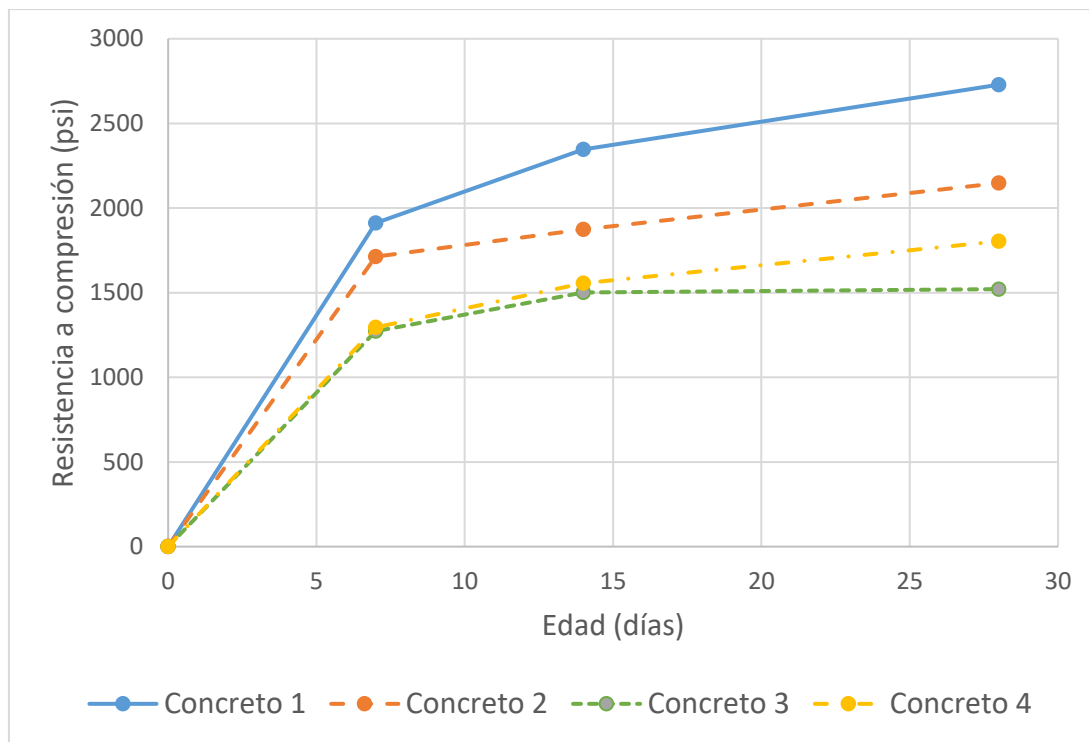


Fig. 1 El desarrollo de las resistencias a compresión para cada tipo de concreto

En base a los resultados obtenidos el concreto sin plástico (Concreto 1) puede clasificarse como concreto de peso normal, con una densidad de 2426 kg/m^3 . Como era de esperar para los concretos con plástico (Concreto 2-4) se han registrado densidades menores, el valor más bajo registrándose para el concreto con el mayor porcentaje de plástico (Concreto 3).

El concreto con 60% plástico y 40% gravilla (Concreto 3) en comparación con el concreto con 100% gravilla (Concreto 1) ha presentado una baja en la densidad de aproximadamente 22%, lo que se traduce en un peso reducido.

Los concretos con plástico presentaron un buen comportamiento también en estado fresco registrándose valores de asentamientos medidos con el ensayo de cono Abrams (ICONTEC, 1992) de 3 y 4 pulgadas (Anexo B), que es lo recomendado en caso elementos verticales como muros.

5. CONCLUSIONES

El concreto sin plástico ha alcanzado a los 28 días el 91% de la resistencia de diseño, siendo el valor promedio de 2728 psi por encima del mínimo requerido por la norma NSR-10 (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010), indicando un diseño de la mezcla exitoso. En caso de los concretos con plástico los valores de resistencia a los 28 días (2147 psi, 1521 psi, 1803 psi) se pueden considerar satisfactorios teniendo en cuenta que estos concretos se utilizarán en elementos no estructurales como muros divisorios.

Durante los ensayos a compresión se ha destacado el modo de falla de los cilindros de concreto con plástico que fue uno drástico (algunos cilindros fallando por completo), como se puede observar en las fotos del Anexo B. Esto indica que para utilizar este tipo de concreto con plástico en elementos estructurales hay que adelantar otros estudios para investigar este hecho y al mismo tiempo alcanzar la resistencia mínima a compresión de 2500 psi.

En Barranquilla, 27 de septiembre de 2016

Informe técnico elaborado por el docente del programa de Ingeniería Civil:

PhD Marian Sabau
Ingeniero civil

BIBLIOGRAFÍA

ACI. (1991). *211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Reapproved 2009)*. ACI.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. AIS.

ICONTEC. (1992). *INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA. METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO*. ICONTEC.

ICONTEC. (2010). *CONCRETOS. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILÍNDRICOS DE CONCRETO*. ICONTEC.

ANEXO A. REGISTRO FOTOGRÁFICO CONCRETO EN ESTADO FRESCO









ANEXO B. REGISTRO FOTOGRÁFICO ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS

B.1 Fotos ensayo a los 7 días de edad







B.2 Fotos ensayo a los 14 días de edad







B.3 Fotos ensayo a los 28 días de edad





ANEXO C. INFORMES ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS SUMINISTRADOS POR INCOSUELOS LTDA

C.1 Informe ensayo a los 7 días de edad



INCOSUELOS LTDA
Ingenieros Civiles

ENSAYOS DE CILINDROS A LA COMPRESION (NORMA ICONTEC 673)

OBRA: VIVIENDA DE INTERES SOCIAL (VIS)
CONTRATISTA: UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC
UBICACIÓN: CALLE 58 N° 55-66

INFORME : C359UCS16
FECHA : 06-sep-16
HOJA : 1 DE 1

REF. INTERNA	REFERENCIA PARTICULAR (LOCALIZACION)	FECHA DE		EDAD (DIA)	LECTURA (LIBRA)	RESISTENCIA ENSAYO (PSI)	OBSERVACIONES
		TOMA	ENSAYO				
672	Concreto N° 1	29-ago-16	06-sep-16	8	53966	1909	
673	Concreto N° 1	29-ago-16	06-sep-16	8	54107	1914	
674	Concreto N° 2	29-ago-16	06-sep-16	8	53781	1902	
675	Concreto N° 2	29-ago-16	06-sep-16	8	43124	1525	
676	Concreto N° 3	30-ago-16	06-sep-16	7	35407	1252	
677	Concreto N° 3	30-ago-16	06-sep-16	7	36573	1294	
678	Concreto N° 4	30-ago-16	06-sep-16	7	38089	1347	
679	Concreto N° 4	30-ago-16	06-sep-16	7	35174	1244	
***	***	***	***	***	***	***	***

Ramiro

C.2 Informe ensayo a los 14 días de edad



INCOSUELOS LTDA
Ingenieros Civiles

ENSAYOS DE CILINDROS A LA COMPRESION (NORMA ICONTEC 673)

OBRA: VIVIENDA DE INTERES SOCIAL (VIS)
CONTRATISTA: UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC
UBICACION: CALLE 58 N° 55-66

INFORME : C371UCS16
FECHA : 13-sep-16
HOJA : 1 DE 1

REF. INTERNA	REFERENCIA PARTICULAR (LOCALIZACION)	FECHA DE		EDAD (DIA)	LECTURA (LIBRA)	RESISTENCIA ENSAYO (PSI)	OBSERVACIONES
		TOMA	ENSAYO				
714	Concreto N° 1 (SIN PLASTICO) 3.000PSI	29-ago-16	13-sep-16	15	65160	2305	
715	Concreto N° 1 (SIN PLASTICO) 3.000PSI	29-ago-16	13-sep-16	15	67483	2387	
716	Concreto N° 2(40% PLASTICO) 2.000PSI	29-ago-16	13-sep-16	15	51762	1831	
717	Concreto N° 2(40% PLASTICO) 2.000PSI	29-ago-16	13-sep-16	15	54206	1917	
718	Concreto N° 3 (50% PLASTICO) 2.000PSI	30-ago-16	13-sep-16	14	41450	1466	
719	Concreto N° 3 (50% PLASTICO) 2.000PSI	30-ago-16	13-sep-16	14	43397	1535	
720	Concreto N° 4 (60% PLASTICO) 2.000PSI	30-ago-16	13-sep-16	14	43683	1545	
721	Concreto N° 4 (60% PLASTICO) 2.000PSI	30-ago-16	13-sep-16	14	44257	1566	
***	***	***	***	***	***	***	***

Ramiro

CORRECCIÓN: El Concreto 3 tiene 60% plástico y el Concreto 4 tiene 50% plástico

